De lucht die we inademen en waarin we ons bewegen

Rond de aarde bevindt zicht een luchtlaag (de **atmosfeer**) die vooral bestaat uit zuurstof en stikstof (resp. 21% en 78%). Die luchtlaag is zelf opgebouwd uit de troposfeer (dichtst bij de aarde tot ongeveer 18 km hoogte, bevat 90% van totale luchtlaag, bepaalt het klimaat), de stratosfeer (of ozonlaag, tot ongeveer 45 km), verder de mesosfeer, ionosfeer en magnetosfeer.
Deze luchtlaag wordt door de aarde aangetrokken door de **zwaartekracht**. Twee massa's –in dit geval de aarde en de massa lucht- trekken elkaar aan volgens een kracht die evenredig is met de 2 massa's en die kleiner wordt met de onderlinge afstand. Dit vertaalt zich eigenlijk in de luchtdruk wat eigenlijk het gewicht is van een massa lucht. In elk punt van de atmosfeer heerst zo een **luchtdruk**. Volgens het principe van **actie-reactie** wordt in dit punt op de massa lucht erboven een even grote reactiekracht uitgeoefend door de massa lucht eronder. De luchtdruk bedraagt ongeveer 1 atm(=776 mm Hg-hoogte, of 776 mbar in een barometer : een buis met kwik gevuld, aan één uiteinde gesloten, aan de andere kant heerst de luchtdruk die de kwikhoogte in de buis doet variëren).
Des te hoger in de lucht neemt dus de zwaartekracht af (dus minder deeltjes in bovenste luchtlagen, de lucht wordt ijler). Op zowat 5500 m hoogte is de luchtdruk zowat gehalveerd. Bekijkt men deze luchtdeeltjes op microscopisch niveau dan is dit eigenlijk een zwerm door elkaar bewegende en op elkaar botsende deeltjes (druk maal volume is constant en bepaald door temperatuur, gaswet van Boyle). Bij gewone luchtdruk bewegen de deeltjes zowat met een snelheid van 500m/s, de weg die elk deeltje aflegt voor het botst –de vrije weglengte- is hier zowat 100 nm). De lucht vult dus zowat alles wat leeg is. Pompt men een ruimte leeg via **vacuümpompen** dan kan in die ruimte een lagere druk ontstaan. Dit gebeurt door schoepvormige pompelementen die als het ware de luchtdeeltjes meescheppen (rotatiepomp, turbopomp) of door een diffusiepomp (waarin hete oliedruppeltjes doorheen smalle kanalen versneld worden en zo de luchtdeeltjes meesleuren). In de fameuze **Maagdenburgse halve bollen** heerst aan de buitenkant de luchtdruk, binnenin is er een soort vacuüm, dus men moet een serieuze kracht uitoefenen om de bollen van elkaar te krijgen.
Boven de luchtlaag omheen de aarde komt men ook in een soort vacuüm terecht, de interplanetaire ruimte.
Op microscopisch niveau bewegen dus de deeltjes in alle richtingen. Een interessante vraag is waarom de zwaartekracht hier niet actief is. In principe werkt die ook op elk atoom maar is verwaarloosbaar klein tov de krachten die tussen de deeltjes zelf werken. Ook hier geldt dus het algemene natuurprincipe –dat eigenlijk eenvoudig is- dat alles onderhevig is aan een krachtwerking (er zijn 4 basiskrachten), dat elke kracht wordt tegengewerkt door een reactiekracht waardoor er dus een soort e**venwicht** ontstaat en dat om uit dit evenwicht te geraken men extra kracht moet leveren, dus **energie** of arbeid =kracht maal verplaatsing).
In een vloeistof zitten de deeltjes dichter tegen elkaar en oefenen afstotingskrachten en aantrekkingskrachten op elkaar uit. Dit systeem is in evenwicht. Aan het oppervlak van de vloeistof zijn er zijdelingse krachten door vloeistofdeeltjes die in het oppervlak liggen en krachten die van het oppervlak weg werken door deeltjes in de vloeistof. Het is dus mogelijk dat aan het vloeistofoppervlak liggende deeltjes ontsnappen in de atmosfeer en daar een **dampdruk** of dampspanning opbouwen. Voegt men warmte toe aan die vloeistof dan krijgen de deeltjes extra energie om zo de aantrekkingskracht van de vloeistof te overwinnen en de vloeistof begint te koken. Is de druk boven de vloeistof hoog (bv in een snelkookpan) dan moet meer energie geleverd worden om te koken (dus water kookt daar op ongeveer 120°C), hoog in de bergen zal water al koken aan 80°C.
Eigenlijk is deze luchtlaag een wonder van de natuur en van elementair belang bij het ontstaan van het leven, het overleven zelf : zij beschermt de mens tegen invallende meteorieten (die

door de luchtwrijving opbranden), tegen schadelijke UV straling van de zon, houdt de aan de aarde weerkaatste warmtestraling tegen, levert de zuurstof om te ademen, doet klimaten ontstaan en maakt het mogelijk ons op verschillende manieren te transporteren. De ionosfeer bestaat uit geladen luchtdeeltjes die radiogolven vanuit de ruimte weerkaatsen (EM-shielding) en radiocontact op lange afstand op aarde mogelijk maken. De mens ondergaat in feite de natuurwetten (in dit geval het bestaan van die luchtlaag), probeert ze te begrijpen en toe te passen. Zonder deze laag zou alles er totaal anders uitzien : een andere vorm van leven, een ander klimaat, een andere manier van transport,…

De **ozonlaag** op zowat 50-55 km hoogte bestaat uit ozon die ontstaan is door de inwerking van UV straling van de zon waardoor O2 dissocieert in O, nadien ontstaat hieruit O3 (ozon). Deze ozonlaag absorbeert grotendeels de UV straling van de zon waardoor we als mensen niet blootstaan aan deze schadelijke straling en er bovendien geen extra opwarming van de aarde ontstaat. Tegenwoordig is door het gebruik van CFK's (bv solventen als freon) en het ontstaan van uitlaatgassen (CO2) een gat in de ozonlaag ontstaan waardoor de aarde dreigt op te warmen : men voorspelt een temperatuurstijging van 1,5 t.o.v. 4,5°C de komende 60 jaar : smeltende polen, stijgende zeespiegel, meer regen en overstromingen). Weer een wonder van de natuur : de door de zwaartekracht van de aarde vastgehouden luchtlaag interageert met de binnenvallende zonnestraling waardoor een deel ozon ontstaat die het ondertussen ontstane en geëvolueerde leven beschermt. Bekijkt men dit op een meer fundamenteel niveau dan komt men terug bij de 4 natuurwetten waarbij ooit gaswolken, planeten en het heelal is ontstaan,die dan op elkaar zijn beginnen inwerken, die op de aarde een luchtlaag hebben doen vasthouden, enz. Alles lijkt in evenwicht te zijn, zolang dit niet verstoord wordt door bv energieschommelingen.

*Hoe ontstaat het **klimaat**?*

De luchtlaag wordt op onze aarde inhomogeen opgewarmd : er zijn luchtlagen in contact met de polen, met bergen, met het vaste land, met woestijnen, met de oceanen. Er kan dus een koude lucht ontstaan (die daalt doordat hij dichter is en dus zwaarder) of warme lucht die dan stijgt. Beiden kunnen waterdamp bevatten (**wolken**) Ontstaat er dus aan de polen een koude polaire lucht dan zal die dus dalen en eronder een hogedrukgebied (betekent meestal mooi weer) doen ontstaan dat in theorie migreert naar het bv boven de evenaar ontstane lagedrukgebied. Er zijn ook lokale invloedsfactoren ide windstromingen kunnen beïnvloeden. M.a.w. er ontstaat luchtcirculatie : deze zou er niet zijn mocht de aarde zelf uit een homogeen landschap bestaan hebben. Deze luchtcirculatie doen dus **winden en stormen** ontstaan.
Daalt een vochtige lucht in een koudere omgeving dan ontstaat **regen en sneeuw**. In sommige gevallen hangt een vochtige luchtlaag vlak tegen de aarde (**mist**). Op koude vensterramen, autoruiten, brilglazen slaat vochtige lucht neer als een soort aanwaseming.
In wolken kunnen ladingen ontstaan, bv door wrijving tussen wolken. Door krachtwerking met de aarde of andere plaatsen in de wolk met andere ladingen ontstaat een ontlading, een stroomgeleiding (**bliksem**). Dit gaat gepaard met een lichtflits en een donderend geluid.
Zoals eerder beschreven heersen tussen de deeltjes in regen en in sneeuw intermoleculaire krachten die tot een evenwicht leiden : in het geval van regen ontstaan waterdruppels doordat als het ware er een aantrekkingskracht heerst op de waterdeeltjes die ze een bolvorm doet aannemen. Bij sneeuw is er sprake van ijskristallen in vaste vorm : ook hier zijn er krachten actief die de ijsdeeltjes in een mooi geordende kristalvorm doen belanden en zo een evenwichtstructuur doen ontstaan, in feite zoals de regendruppel het evenwichtsresultaat is van de inwerking van krachten op een watervolume.

Door de beweging van de aarde rond de zon kennen we de seizoenen, en dag en nacht. Dit veroorzaakt dus temperatuurschommelingen. Deze verschillen –zoals reeds aangegeven- voor elke plaats op aarde. In woestijnen kan er een enorm temperatuurverschil zijn tussen dag en nacht, in een maritiem klimaat zoals het onze veroorzaakt de nabijheid van een grote watermassa een matigend effect op deze temperatuurschommelingen. Boven woestijnen ontstaat bv ook warme lucht die stijgt en er blijft hangen. Alle luchtcirculatie, ook regenwolken, kunnen hierdoor niet tot voldoende hoogte stijgen om watercondensatie te veroorzaken en dus regen. Waarom is het boven de polen minder warm dan boven woestijnen : dit hangt samen met de invallende zonnestraling die loodrecht is op de evenaar, en naar de polen toe zo een groter boloppervlak beschijnen, dus minder energie-inval per oppervlakte.

In het verleden is er overwegend een gematigd klimaat geweest met af en toe uitschieters : de **ijstijden**. Vermoedelijk moet dit in relatie staan tot een verandering op aarde van het aardoppervlak, bv gebergtevorming die dan het klimaat beïnvloedt. Klimaatschommelingen worden o.a. bestudeerd door fossielen en gesteenten te bestuderen.
Elke 300 m daalt de temperatuur met 2°C (doordat er minder luchtdeeltjes zijn). Meer bergen kunnen dus meer koude lucht doen ontstaan die minder circuleert op het aardoppervlak (er zijn meer koude luchtzones, en dus hogedrukgebieden, dan warmeluchtzones en dus lagedrukgebieden, waardoor dus een onevenwicht ontstaat). Door de aantasting van de ozonlaag tegenwoordig kan ook een onevenwicht ontstaan maar dan in omgekeerde richting. In feite is de natuur dus steeds op zoek naar een evenwicht tussen krachten, wat niet betekent dat er geen onevenwichten bestaan : materialen zitten vol structuurfouten, mensen hebben ziekten, een hogedruk- of een lagedrukgebied is ook een onevenwicht en al deze onevenwichten zijn ontstaan door extra energietoevoer. Daar de totale energiehoeveelheid constant is moet er dus ergens anders energie vrijkomen. Al deze onevenwichtssituaties interageren met elkaar en proberen op zich weer in evenwicht te zijn.

De mensen zijn in de loop der tijden steeds onderhevig geweest aan deze klimaatschommelingen. Koude en droge periodes hebben volkeren doen migreren, hebben beschavingen doen ophouden, hebben het leven doen evolueren (cfr Darwintheorie). Bekijkt men dit alles even van op afstand dan is zoals eerder aangegeven de atmosfeer met zijn klimaatschommelingen gewoon een evenwichtsresultaat van de inwerking van een 4-tal natuurkrachten. Ook het leven zelf is eigenlijk een evenwichtsresultaat van de inwerking van natuurkrachten en uiteindelijk probeert dit leven in evenwicht te zijn met de omringende omgeving. Vermoedelijk gebeurt dit ook op andere planeten waar dezelfde natuurkrachten wel een andere leefomgeving en een andere levensvorm hebben doen ontstaan.

*De mens **ademt** lucht in*

Elk levend organisme, ook de mens, neemt lucht op bv via inademing komt de lucht in de longen waar er een uitwisseling is met het bloed. Dit zuurstofrijk bloed wordt door het hart rondgepompt naar de weefsels waar er een oxydatie (verbranding) plaatsvindt van glucose : hierbij komt energie vrij die het menselijk lichaam nodig heeft. Het afvalproduct is koolzuurgas dat terug naar de longen gaat en wordt uitgeademd.
Vissen hebben door evolutie geleerd zuurstof rechtstreeks uit het water op te nemen, wat de mens niet kan. Komt de mens in een zuurstofarme omgeving : ijle lucht, een huiskamer vol met CO, een obstakel dat de luchtpijp afblokt, dan treedt de noodzakelijke zuurstofopname niet plaats. Na zekere termijn stopt het menselijke leven.

De mens gebruikt de lucht als transport- en energiesysteem

De natuurwetten doen krachtevenwichten ontstaan tussen lucht en een materiaal dat er zich in bevindt of in beweegt. Een voorbeeld hiervan is een heteluchtballon : de ballon is gevuld met hete lucht, die lichter is. Op dat moment is er de zwaartekracht op het lichtere volume lucht, anderzijds is er zoals in water een opwaartse kracht die gelijk is aan het volume lucht dat er oorspronkelijk was (wet van **Archimedes**) , er ontstaat dus een opwaartse kracht die de ballon doet stijgen. De ballon stijgt tot hij in hogere regionen terecht komt : het hete gas koelt af, anderzijds vermindert ook de opwaartse kracht. De eerste luchtballons gingen de lucht in einde 18^{e} eeuw (gebroeders Montgolfier). Ook de zeppelins werkten volgens dit principe. Zonder de aanwezigheid van de atmosfeer zouden luchtballons niet de hoogte ingaan.
Dit geldt ook voor **vliegtuigen.** Door een speciale constructie van hun vleugels moet de luchtstroom bovenaan de vleugel sneller bewegen dan onderaan de vleugel : hierdoor ontstaat een onderdruk bovenaan de vleugel (wet van **Bernouilli**) waardoor het vliegtuig een opwaartse kracht ondervindt. Hetzelfde gebeurt tgv de beweging van helikopterschroeven. Hetzelfde natuureffect gebeurt wanneer 2 wagens elkaar heel dicht voorbijrijden en er een aanzuigend effect ontstaat, het afdruppelen van een druppel bij het uitgieten van een melkkannetje of wijnfles beantwoordt aan dezelfde natuurwet. Ook vogels maken gebruik van hun vleugelstand om te kunnen vliegen, de mens kan dit alleen door een soort kunstvleugels te maken. Hierbij is uiteraard ook een voorwaartse beweging nodig om de noodzakelijke luchtstroming langsheen de vleugels te bekomen. Bij een straalvliegtuig gebeurt dit door instromende lucht in een verbrandingskamer waarbij een ontploffing volgt : de uitzettende gassen oefenen een druk uit op de wanden van de verbrandingskamer. Aan de achterzijde is deze open waarbij verbrandingsgassen de kamer verlaten. De druk die op de voorkant van de kamer wordt uitgeoefend doet het vliegtuig voorwaarts bewegen. In de ruimte zou een vliegtuig niet kunnen vliegen : dit zou wel kunnen zoals bij een **raket** wanneer de nodige lucht voor de verbranding in afzonderlijke reservoirs wordt meegenomen. Een raket is dus het enige transportmechanisme indien we de atmosfeer verlaten. Dus op een vliegtuig werkt een voorwaartse kracht, de luchtweerstand, de zwaartekracht en een opwaartse kracht. In de ruimte is er enkel de zwaartekracht en de voorwaartse kracht.
Het eerste vliegtuig ging de lucht in in 1900 (gebroeders Wright). De verbrandingsmotor van een straalvliegtuig dateert van de tweede Wereldoorlog (Whitlle), ook von Braun paste hetzelfde principe toe bij de V1 en V2 bommen. Deze laatste konden met een gewicht tot 14 ton, een afstand van 80 km overbruggen. De eerste helikopter dateert van 1907.
Wanneer een vliegtuig beweegt ondervindt het **luchtweerstand**. Een interessante vraag is waarom deze (actie-reactie) niet de voortstuwende kracht tegenwerkt of waarom de zwaartekracht op het vliegtuig niet wordt tegengewerkt door een even grote opwaartse reactiekracht. Deze reactiekrachten zijn er wel maar bereiken blijkbaar een maximum : op een zeker moment is de luchtwrijving maximaal doordat bij een verdere krachttoename op het bewegend vliegtuig de lucht a.h.w. wordt weggeduwd (dit gebeurt ook bij het duwen tegen een muur waarbij er aanvankelijk een even grote reactiekracht ontstaat maar op een gegeven moment de muur breekt). De luchtwrijving veroorzaakt wel een afremming van de voorwaartse beweging maar maakt ze niet onmogelijk, eens de luchtweerstand overwonnen is er een voorwaartse kracht op het vliegtuig waardoor het beweegt, zelfs kan versnellen (F=m.a). Door beweging in lucht kan er ook een oplading op het bewegende oppervlak ontstaan (cfr in de winter ontstaat er een oplading op een auto die gereden heeft, bij openen van portier is er kleine ontlading).
Een **satelliet** heeft een startsnelheid rondom de aarde waarbij de zwaartekracht hem in theorie een kromme baan naar het aardoppervlak toe zou bezorgen. Is de startsnelheid groot genoeg dan kan de kromming van deze baan de kromming van de aardbol evenaren waardoor

de satelliet a.h.w. ten gevolge van de zwaartekracht blijft vallen, maar dan in een baan rond de aarde. Op dat moment is er geen extra voorwaartse kracht meer nodig. De zwaartekracht is op dat moment in evenwicht met de middelpuntvliedende kracht. (a.h.w. de satelliet die enerzijds in rechte baan wil bewegen met constante snelheid want er is geen luchtweerstand, anderzijds de zwaartekracht die eigenlijk satelliet aantrekt, tussen de 2 is er een evenwicht zodat satelliet rond aarde cirkelt). Mocht men op aarde een steen met een dergelijke snelheid kunnen wegsmijten dan zou men hetzelfde effect kunnen bereiken, alleen zorgt de luchtweerstand dan voor afname van de voorwaartse snelheid, zodat de steen toch zal vallen. Een steen op de maan weggooien zou wel tot dit satellieteffect kunnen leiden.
Zeilschepen maakten gebruik van de windkracht op hun zeilen om voort te bewegen. Mocht dus de aarde een monotone grondoppervlakte geweest zijn, met overal dezelfde temperatuur, dan zouden er geen winden zijn om zeilschepen voort te bewegen. Mocht er geen luchtlaag bestaan, dan zou gewoon elk transport in de lucht onmogelijk zijn (op raketten na).

Wind tenslotte wordt ook gebruikt om wieken van windmolens te doen draaien of de bladen van een windturbine. Bij dit laatste ontstaat er een roterende beweging van een geleider in een magnetisch veld, waardoor stroom ontstaat.

Tot slot een paar nadenkertjes

-de aarde trekt een vallende appel aan : de kracht op de appel is even groot als de kracht die de appel op de aarde uitoefent. Door de veel grotere massa van deze laatste beweegt die niet.
-de vallende appel ondervindt luchtweerstand, dus een vertragende opwaartse kracht. Deze is echter beperkt, zodat actie-reactie de appel niet in de lucht doet houden.
-valt de appel op de grond dan oefent de aarde wel een even grote reactiekracht uit die de appelbeweging doet stilvallen. Op dat moment is er dus een krachtenevenwicht waar trouwens alles in de natuur naar streeft;
-wil men de appel in de lucht houden dan is er een extra opwaartse kracht nodig, bv ophangen aan een tak van een boom.
-op de maan zou 1 kg appels veel minder wegen (165 g), op Jupiter meer : 2,6 kg. Op een bergtop van 5,5 km weegt deze kg appels de helft minder.
-de aarde is ontstaan door een krachtinwerking op gaswolken waarbij een onevenwicht is ontstaan (geen monotoon oppervlak maar complex aardoppervlakte). De zwaartekracht deed de luchtlaag in de buurt van het aardoppervlak houden. De appel is als levend organisme ooit ontstaan door inwerking van krachten, in de loop der tijden is deze oerappel geëvolueerd om aan de klimaten te weerstaan en te overleven. De huidige appel is dus een resultaat van de eeuwenlange inwerking van natuurkrachten, zoals ook de aarde en de atmosfeer dit is. En de natuurkrachten blijven inwerken op appel, aarde en atmosfeer waardoor hij eenvoudigweg valt : hoe iets heel eenvoudig lijkt maar in zich een enorme complexiteit herbergt…

<u>Waarom een veer in het luchtledige even snel valt als een zwaarder voorwerp</u>

Op beide voorwerpen werkt de zwaartekracht in, die recht evenredig is met de onderlinge massa van het vallende voorwerp (m) en de massa van de aarde (mA), omgekeerd evenredig met de afstand (r) tussen het voorwerp en de aarde. Deze afstand is voor de veer en bv. een bal dezelfde.[1]
Onderliggende lucht vormt een opwaartse druk, die gelijk is aan het gewicht van het verplaatste volume lucht. Stel dat de veer en de bal hetzelfde volume innemen dan is de

[1] Aantrekkingskracht $F=m.mA.G/r^2$ of $F=m.g$ met $g=9,81\ m/s^2$. De gravitatiewet is later vervangen door de complexe relativiteitstheorie

opwaartse druk voor beide gelijk.
Bij het vallen werkt ook een luchtweerstand, die een maximale waarde bereikt. Dit is een soort actie-reactie te vergelijken met bv.duwen tegen een muur. De luchtweerstand is groot genoeg om de veer af te remmen, maar niet de bal.[2]
In het luchtledige is er geen lucht, dus geen opwaartse druk en geen luchtweerstand. Beide voorwerpen bewegen dus even snel. [3] Het is dus de luchtweerstand die onder gewone atmosfeer de veer meer vertraagt. [4]

PS Leg 2 massa's op een tafel van 1 m hoog en de afstand tussen de 2 massa's bedraagt ook 1 m. Elke massa weegt 1 kg. De onderlinge aantrekkingskracht tussen de massa's bedraagt $F=1kg.1kg.G/(1m)^2=G$=gravitatieconstante. De aantrekkingskracht van de aarde op elke massa bedraagt $F=1kg.9{,}81\ m/s^2=9{,}81\ N=1$ kgkracht (oude eenheid). Deze aantrekkingskracht van de aarde is dus veel groter dan de onderlinge aantrekking tussen de 2 massa's. Zolang de massa's op de tafel liggen is het principe van actie-reactie van toepassing en blijven de massa's dus gewoon liggen.

Bron: Scheire en de schepping, Play 4, 7.3.2024.

Bronnen : Spectrum boek van de natuur (deel 1 en 2), Encyclopedie Het weten waard, Spectrum encyclopedie (CDROM)

Marc Van Stappen, www.stap-brug.be, 2005

[2] De luchtweerstand is bv. voor een ronde bal kleiner (makkelijker luchtstroming langsheen de bal) dan bij een veer met een complexe vorm. Zou men bv. de veer ook in metaal maken, dan zou deze dezelfde luchtweerstand hebben als de gewone veer.
[3] Opletten hier: de beginsnelheid wordt bepaald door de omzetting van potentiële energie in kinetische energie. Deze snelheid is dezelfde als de valhoogte dezelfde is. De zwaartekracht bepaalt de versnelling.
[4] Het is wat vreemd dat op een zwaarder voorwerp er een grotere aantrekkingskracht wordt uitgeoefend om toch om dezelfde manier te vallen als een lichter voorwerp. Beschouw het zwaardere voorwerp als bestaande uit een verzameling kleinere deeltjes en op elk deeltje is er eenzelfde aantrekkingskracht als bij de deeltjes van het lichtere voorwerp. De aarde moet dus a.h.w. aan het zwaardere voorwerp harder trekken om tot dezelfde beweging te komen als het lichtere voorwerp.